轉基因作物的安全性分析

◎農試所農場室　陳烈夫
農藝系　呂秀英、呂椿棠、魏夢麗

一、前　言

近年來，生化科學及生化技術已經超越生物學、醫學、藥學等傳統學問的架構，發展可謂日新月異。而人類自古以來即致力於作物品種的改良並進行動物的人工交配等相關研究，同時亦早已擁有製造酒、起司、味噌的發酵技術。因此生化技術的發展歷史可說是相當久遠，而包括基因操作技術等生化科學的急速進步，也使醫療、糧食生產產生很大的變化。自1983年首例菸草轉基因作物（GMC, Genetically Modified Crops）建構成功以來，至1993年 Calgene 公司研創以延熟保鮮轉基因蕃茄在美國批准上市，開創了轉基因作物商業應用之先河。1997年初，美國已批准的轉基因作物田間試驗達2,584件，批准17件轉基因植物商業化釋放。直至1998年全球轉基因作物的種植面積達到2,780萬公頃，預計至2006年銷售額可達340億美元。迄今美國已批准50種轉基因作物產品商業化，四分之一的耕地種植的是轉基因作物，其中轉基因抗除草劑大豆佔美國大豆總面積的55%，抗蟲棉佔棉田總面積約50%，轉基因玉米佔玉米總面積的30%，美國市場上已有近4,000種食品來自於遺傳工程體系，無可置疑地轉基因農業的新時代已經來臨。但隨著轉基因作物環境釋放種類增多、規模增大，轉基因作物對環境所產生之影響，尤其是在環境和商業釋放後，是否會變成不可控制的安全問題，成爲近年來人們關注的焦點。由於此一科學新領域與科技、生化、醫藥、農學、健康等皆有相關，但一般社會大衆的直覺卻往往認爲是高深、陌生而難以親近瞭解，故本文試圖以較口語化、生活化的方式把艱深難懂的基因科學理論化爲簡單的文字敘述，並就最近國際上對轉基因作物安全性的爭論情形作一完整、詳細的討論及分析。

二、何謂轉基因作物

所謂基因工程（gene engineering, 或稱基因操作 gene manipulation）就是用人工方法把其他非同種生物的遺傳物質（基因）分離出來，在體外藉由限制酵素（restriction enzyme）進行基因剪接與基因構築，建構一個基因載體（vector）；載體中通常含有啓動子（promoter）、基因終止訊息之終結子

作者：陳助理烈夫
聯絡電話：04-23302301轉751

（terminator）、基因本體及報導基因作爲載體的基本架構，然後按照人們的意願重新組合成重組體，再將重組體利用基因轉殖方法放回到宿主細胞內大量複製（cloning），並使遺傳信息在新宿主細胞或個體中具有高效表現，最終獲得基因產物。基因轉殖方法有農桿菌介導法、基因槍法、微注射法、電融合法、脂質體轉化法、花粉管通道法，其中以農桿菌法及基因槍法最爲常用。這種人工創造新生物並給予生物以新功能的過程稱爲基因工程。簡單地說，基因工程技術就是「剪」、「貼」然後複製的過程。基因先從某種生物切下來，然後放到稱爲載體的中介DNA上，載體可以把這段DNA帶到其他生物(寄主)中，然後寄主不斷複製，載體也跟著複製。在理想的狀況下，每個寄主細胞都會接受新的基因，並且產生我們所需的蛋白質產物。這是在1970年代，由史丹佛大學的Paul Berg、Herbert Boyer，以及加州大學柏克萊分校的Stanley Cohen所共同發展出來的技術。

而轉基因作物就是藉由基因工程技術的應用，進行爲作物做「疫苗預防接種」之研究，產生不用農藥也不會有病蟲害、抗殺草劑、延緩成熟增加保存期限、預防自花授粉以製造優秀混種等各種機能的優良作物。這些經過基因改造的作物所製成的食品，也就是最近常聽到的新名詞—「基因改良食品」，即「嵌入有益的基因所培養出來的穀類、蔬菜」。

對人類提高農業產能的角度來看，這些被嵌入的基因是有益的，但人們其實最擔心的仍是轉基因作物的潛在風險，以及基因改良食品是否能安全地被食用？在全球民眾有知道眞相之基本理念下，並保障消費者選擇權，從而減少民眾對基因改造食品之恐慌，政府部門及研究機構實應詳加說明報導。

三、轉基因作物的潛在生態風險及環境安全性分析

80年代後期以來對於轉基因作物可能存在的生態風險不斷有實驗報導，簡單說明如下：

㈠轉基因作物釋放後在環境中成爲雜草的風險性

1.轉基因作物本身可能變爲雜草：某些植物由於導入了新的基因，而使它對親本或野生種有更強的生存競爭力。這類轉基因植物的釋放和擴散，因其過旺的生存力，會破壞自然界植物的多樣性，使其本身成爲雜草。

2.轉基因作物通過基因遷移可使野生近緣種變爲雜草：在條件適宜的情況下，作物與野生或親緣種間會通過花粉傳播發生基因交換。育種家很少考慮花粉從改良作物向栽培地附近野生種的移動，並藉由基因遷移可能將適應性的優點傳遞給野生親緣種，促使其「雜草化」。

3.轉基因植物（雜草）侵入新的生態區域：作物引入某些抗逆基因，使它擴張至原先不能生存的生態空間，或者這類轉基因作物將該基因擴散到雜草中，使雜草繁殖的範圍更大。

4.轉基因作物可能成爲自然界不存在的外來品種，若干年後可能對環境造成破壞：廣泛種植轉基因作物可能直接導致產生帶有植物適合性（fitness）性狀的雜草，造成對新農藥的需求。

結果証明轉基因作物與野生植物同樣可以與近緣種雜交產生雜種，即異型雜交（out cross）或遠緣雜交。作物性狀向野生種族群的逃逸並非杞人憂天，且這種逃逸現象確實存在於野生種族群中並可能正在發生。因此，必須對轉基因作物大規模商品化釋放後所可能導致的無法預測之花粉交換特性，以及隨後在野生種族群中轉基因性狀的發展加以重視。

為使持續開發和大規模釋放轉基因作物之同時發生生態和經濟災難的風險降低，建議轉基因作物的隔離措施應當與田區內及其周圍的雜草防治措施相結合。防止轉基因作物之基因逃逸和傳播的方法有：

1.注意作物的隔離距離，在可能發生花粉交換的距離內清除作物的野生親緣種。同時採取某些措施，如在作物周圍設置某種設施，防止及減少花粉從實驗地流失，並在收穫後使用除草劑等，都能有效地減少逃逸的風險。
2.對栽培地區存在的作物與其親緣種的雜交性進行研究，重要的是評估產生雜種的適合性。瞭解作物與其野生種在分布上的重疊情況及其之間雜交的可能性，將有助於風險評估。實施風險評估時，應在栽培轉基因作物的地區內對每種作物逐一進行個案分析。這些分析資料將可為政策制定者和田間實驗者提供必要之訊息，以認知轉基因存在的可能性和生態風險遷移的特性。

㈡抗除草劑特性

一些抗除草劑轉基因作物，可能通過花粉漂流將抗性基因轉至環境中可交配的野生植物群中，或者長期使用除草劑後，某些雜草發生了基因突變，而使其表現為具有抗除草劑特性，成為難以控制的雜草。特別是在同一地區推廣具有不同除草劑抗性的作物時，更應考慮其可能的風險性。這在某些雜交率較高的作物，如向日葵、草莓、油菜等尤其需要注意。

㈢轉基因作物的生態效應

1999年康乃爾大學Losey研究報導，在一種植物馬利筋葉片上撒上轉基因Bt玉米花粉後，一種稱之為黑脈金（普累克西普）斑蝶的幼蟲對葉片就吃得少、長得慢、死得快，四天後幼蟲死亡率達44%，而對照組（餵飼不撒Bt玉米花粉的葉片）無一死亡。這結果引起對Bt作物是否會破壞生態環境的爭論。這是Bt作物對昆蟲族群影響的一個例子，事實上這並不意外，因為Bt玉米中的殺蟲晶體蛋白Cry IA是特異地毒殺鱗翅目害蟲的，斑蝶屬鱗翅目昆蟲，自然會受到Bt蛋白的影響，這是實驗室進行試驗時必然會發生的結果，但未必就會反映到田間的情況。

㈣病毒發生異源重組或異源包裝的可能性

自然界處處存在著植物病毒的重組和異源包裝，包括DNA病毒和RNA病毒，都可改變病毒的寄主範圍，而因此可能產生新的超級病毒或新的病害。1988年烏干達嚴重流行一種新病毒，稱為木薯花葉病毒烏干達變異株（UgV），病毒流行造成饑荒，經DNA序列分析表明為病毒重組產生。至於異源包裝為轉外殼蛋白（CP）基因的抗病毒植物，當有其他病毒侵染時，入侵病毒的核酸可能會被轉基因作物表現的外殼蛋白所包裝，從而改變病毒的寄主範圍。這在實驗室試驗中已獲得証據，但在田間試驗中尚未見有報導，還需作進一步研究追蹤其長遠效

應。據推測，即使在轉基因作物中發生病毒的異源包裝，該病毒在再次入侵非轉基因寄主時，也會因為無法形成CP而消滅死亡。雖然如此，但這並不意味著在長期大規模生產應用中就不會發生病毒的重組和異源包裝。在長期生產中，病毒重組或異源包裝的真正風險究竟有多大？這仍是今後安全性評估中應當考慮的重點問題之一。

㈤對非目標生物有傷害，對生物多樣性形成威脅

經實驗獲知，轉基因作物對土壤微生物區系的種類和數量沒有影響，且轉基因作物殘渣對後季作物的影響也不明顯，並且經嚴密監控實驗證實，某些抗病蟲害的轉基因作物，如轉Bt或幾丁質酵素基因的油菜、抗TMV的轉基因蕃茄、抗水稻條紋病毒水稻對昆蟲無影響。但不可否認地，若是由於轉基因作物的強韌生命力，減少了在同一環境內其他不同植物（雜草）的生存空間，對嗜好且倚賴這些植物的動物、昆蟲、微生物而言，恐怕將因缺少食物而走向族群滅亡。

四、轉基因作物作為食品的安全性問題及分析

1993年提出的實質等同性（substantial equivalence）原則，即生物技術產生的食品及食品成分是否與目前市場上銷售的食品具有實質等同性。轉基因食品的安全性評估主要包括：表型性狀、關鍵營養成份及抗營養因子、有無毒性物質、有無過敏性蛋白、抗生素抗性等標記基因的安全性。

㈠毒性分析

迄今已有100種以上新性狀被嵌入各種基因改造作物，且經由數千個田間試驗以及全球近2,780萬公頃轉基因作物的商業化，並沒有任何証據顯示出它有食品或環境安全上的問題。但這當然不表示說基因改造作物一點都不會有不可預見的負效應。因此仍然應該要對每一作物可能存在的這種負效應，逐個地作出科學的評估（個案分析原則）。

㈡過敏性分析

真正的食物過敏是由IgE（免疫球蛋白E）所介導，而過敏食物可區分為常見及不常見兩大類。國際糧食農業組織（FAO）於1995年發表八類過敏食物為常見過敏食物，約佔所有食物過敏的90%以上，它們是牛奶、雞蛋、魚、甲殼類（蝦、蟹、龍蝦）、花生、大豆、核果類（杏、板栗、腰果）及小麥；至於不常見過敏食物有160種，包括主要糧食、油菜籽、蔬菜作物以及一些加工食品如啤酒、巧克力等。轉基因作物做為食品可能產生過敏性的情況有：

1.所轉基因編碼已知的過敏蛋白。
2.基因源含過敏蛋白。
3.轉入蛋白與已知過敏蛋白的氨基酸序列在免疫學上有明顯的同源性。
4.轉入的蛋白屬某類蛋白的成員而這類蛋白家族中的有些成員是過敏蛋白。

1996年Metcalfe等人以樹狀分析法分析遺傳改良食品的過敏性，該法主要在分析基因的來源、目標蛋白與已知過敏原的序列同源性、目標蛋白與已知過敏病人血清中的IgE能否發生免疫反應、以及目標蛋白的理化特性等，已為很多生化科技公司所採用，可資參考。

㈢抗生素標記的安全性

細菌對抗生素越來越產生抗性，並非由於轉基因作物，而主要肇因於治療人畜疾病

中濫用抗生素。轉基因作物在實驗室階段中經常要使用抗生素作爲抗性標記進行篩選，這是值得擔心的問題，不過目前已找到替代物，逐步淘汰對抗生素標記的使用已成爲共識。國際衛生組織（WHO）於1993年提出植物食品中標記基因的安全性評估應該符合以下原則：

1.標記基因的分子、化學和生物學特性。

2.標記基因的安全性應與其他基因一樣進行評估。

3.原則上某一標記基因的資料一旦累積，應可用於任何一種植物，且可用於與任何一種目的基因連接。

目前最關心的問題是標記基因有無直接毒性、有無基因水平轉移的可能性以及未能預料的基因多效性。

㈣對食物的偏好性

抗蟲、抗除草劑不是基因工程的唯一目標，目前基因工程只處於起步階段，長期目標爲培育抗逆、品質優良、高光能利用效率等的作物，提高營養成份、增加附加價值、再生能源等將是生物技術的第二代產物，屆時消費者在直接受益下，是否因此影響對食品的偏好性，導致非基因改造食品在市場上的排擠效應，仍是必須關注的課題之一。

五、如何看待及因應轉基因作物所引發的爭論

從本質上來說，轉基因作物和常規育成的品種是一樣的，兩者都是在原有品種的基礎上對其部分性狀進行修飾，或增加新性狀、或消除原來的不利性狀。有意識的雜交育種已有一百多年歷史，歷史上並不要求對常規育成的品種作系統的安全性評估，卻爲甚麼要對轉基因作物進行安全性分析？這是因爲常規有性雜交僅限於種內或近緣種間，而轉基因作物中的外源基因可來自植物、動物和微生物，人們對可能出現的新組合、新性狀會不會影響人類健康和生物環境還缺乏知識和經驗，按目前科學水準還不可能完全精確地預測一個外源基因在新的遺傳背景中會產生甚麼樣的相互作用。但從理論上來說，植物基因工程中所轉的基因是已知的有明確功能的基因，它與遠緣有性雜交中的高度隨機過程相比，其轉基因後果應當可以更精確地預測，在應用上也更加安全。

目前對基因改造作物及食品最大的兩極化爭論是，沒有科學證據顯示它絕對不安全，但也沒有科學證據證明它絕對安全。不過我們必須瞭解，任何人類活動、技術發明都有風險性，關鍵是要權衡其利弊（效益/風險）。轉基因作物並不比常規育成的品種更有風險，事實上更大的風險是一個國家刻意忽視這一強大技術可以解決日益增長的糧食需求的利用性及急迫性。國際觀察研究所預估30年後由於全球人口將突破一百億以上，但放眼全球，除了幾個農業先進國有生產效率極高的農業，大部分國家的農業生產仍停留在極原始且無效率的階段，若情況不變，人類將面臨糧食不足的嚴重危機，甚至引發戰爭。因此若不及時發展生化技術，人類將陷於飢餓與戰爭。事實上基因工程是一門要求極嚴格的技術，是在分子等級操作基因製造新的生物，而非於細胞等級之中，因此全力確保其安全性並愼重進行，是理所當然的。但一般人往往因爲不瞭解，懷有「基因重組＝怪物誕生」的非科學性膚淺幻想，於是聞基因操作而色變，甚至去責難研究本

身。但是由於大眾對生物科技和基因改造食物的疑慮漸增，科學家們也必須在埋首研究之餘開始重新思考這個問題。北卡羅來納大學病理學家庫克最近指出，科學界已經發覺，更嚴格的法令規範，可以降低大眾的疑慮。否則，他指出「我們可能失去這項科技」。

儘管近一年來國際上對轉基因作物的環境和食品安全性引發了一場爭論，但全球轉基因作物的總面積在1999年卻依然猛增到3,990萬公頃，比起1998年的2,780萬公頃增加了44％，這說明了全球轉基因作物的商業化勢不可擋，而且是不可逆轉的。因此我們應當抱持的正確態度是促進而不是限制植物基因工程的發展，但考慮到基因、轉基因作物種類及環境多樣性，則應該採取逐步改善及個案分析的原則。而由於基因工程研究是一個新領域，以目前的科學技術水準還難以完全準確地預測到轉基因在受體生物的遺傳背景中的全部表現，人們對於轉基因生物出現的新組合、新性狀及其潛在危險性還缺乏足夠的預見能力，必須採取一系列嚴格措施，對農業生物遺傳工程體從實驗研究到商品化生產，進行全程的安全性評估和監控管理，在上游做好品種的偵檢工作，在下游建立食品的標籤制度，如此才能在發展農業生物基因工程技術的同時，確保人類健康和生態環境的安全。

六、參考文獻

胡兆華。2000。人類發展的過去現在及未來農耕、文化、生態。第十二章之農作物改造的基因工程與自然生態、倫理。財團法人國立中興大學文教基金會出版社。

馮永騰。1988。植物細胞的基因轉移。13-21頁。刊載於「生物技術專題演講論文集（二）」（許麗卿、曾義雄、陳慶三編）。國科會生命科學研究推動中心專刊第十六集。行政院國家科學委員會。

曾義雄。1988。遺傳工程入門（第二版）。藝軒出版社。台灣。

賈士榮。1997。生物技術與食品安全性。生物技術通報 1:4-9。

賈士榮。1997。轉基因食品中標記基因的安全性評價。中國農業科學 30:1-15。

經部征夫。2000。惡魔的科學。新雨出版社。台灣。

葉錫東。1988。利用植物遺傳工程技術防治植物病毒病害之展望。177-186頁。刊載於「生物技術專題演講論文集（二）」（許麗卿、曾義雄、陳慶三編）。國科會生命科學研究推動中心專刊第十六集。行政院國家科學委員會。

蔣藍、郭宗德。1988。基因轉移於作物改良的應用及其展望。235-244頁。刊載於「生物技術專題演講論文集（二）」（許麗卿、曾義雄、陳慶三編）。國科會生命科學研究推動中心專刊第十六集。行政院國

家科學委員會。

錢迎倩。1999。轉基因作物的利弊分析。生物技術通報 5:7-11。

蘇遠志。2000。國際基因轉殖產品相關法規之發展趨勢。1-38頁。刊載於「基因轉殖生物相關議題研討會論文集」。中華農業化學會。

Arias, D. M., and L. H. Rieseberg. 1994. Gene flow between cultivated and wild sunflowers. Theore. Appl. Gene. 89:655-660.

Dale, P.J. 1994. The impact of hybrids between genetically modified crop plants and their related species: general consideration. Molecular Ecology 3:31-36.

Doebley, J. 1990. Molecular evidence for gene flow among Zea species. BioScience 40:443-448.

Edward, E. D. 1997. Benefits of biotechnology. -- A United States case study. pp191-198. In: the 3rd JIRCAS symposium: the 4th international symposium on the biosafety results of field tests.

Ellstrand, N.C. and C.A. Hoffman. 1990. Hybridization as an avenue of escape for engineered genes. BioScience 40:438-442.

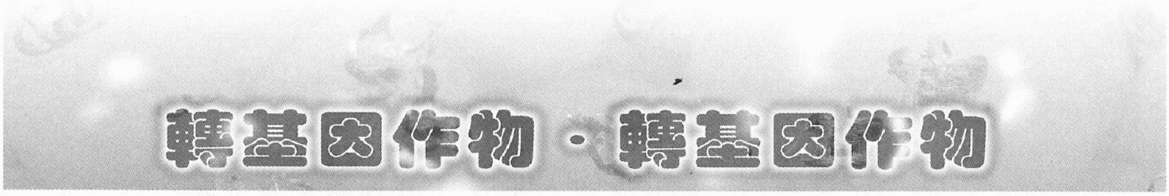
Glausiusz, J. 1998. The great gene escape. Discover 19:91-96.

Goy, P. A., and J. H. Duesing. 1996. Assessing the environmental impact of gene transfer to wild relatives. Bio/Tech. 14:39-40.

Mikkelsen T.R. 1996.The risk of crop trans gene spread. Nature 380:31.

OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 1993. Safety evaluation of foods produced by modern biotechnology: Concepts and prici ples. OECD, Paris.

Poppy, G. 2000. GM crops: environmental risks and non-target effects. Trends Plant. Sci. 5:4-6.

Schuler, T. H., R. P. J. Potting, I. Denholm and G. M. Poppy. 1999. Parasitod behavior and Bt plants. Nature 400:825-826.

Wu,M.T.2000. Development of genetically modified organisms and its regulation in Taiwan. pp1-9. In: Genetically modified organisms in agriculture-its implication for production and consumption in Taiwan and European Union. The 18th Joint Board Meeting of the Sino-German Association for Economic and Social Research. Council of Agriculture.